



## Cuantificación de la recarga de agua en el sistema de riego Catarama mediante Modelo Renata

Cuantification of Catarama irrigation system recharge by Renata Model

**Autores:** Govanny Jiménez Valencia<sup>1</sup>  
John Enrique Félix Mera<sup>2</sup>  
José Ramón Alarcón Loor<sup>3</sup>

**Dirección para correspondencia:** (del autor principal)

Recibido: 2018-12-04

Aceptado: 2019-03-09

### Resumen

El objetivo de la investigación es cuantificar la recarga de agua generada en el sistema de riego Catarama (Cuenca del río Catarama) perteneciente a la provincia de Los Ríos (Ecuador), mediante la aplicación del modelo numérico RENATA (Recarga NATural a los Acuíferos) desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Diputación de Alicante. En el estudio se calculan los volúmenes de agua que son generados por la infiltración ocasionada por la lluvia y por el retorno de riego proveniente de las dotaciones de agua asignadas a los diferentes cultivos existentes en la zona. Para la determinación de la recarga se consideraron diferentes variables climáticas influyentes como precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial y real; así como las diferentes características de los suelos del sector. A partir de estas variables RENATA pudo generar los resultados de la modelación en el sistema de riego, en base a los datos obtenidos de series climáticas mensuales correspondientes al periodo enero 2005 - diciembre 2014, obteniendo durante este tiempo una recarga teórica de 57,139 Hm<sup>3</sup> en un área total aproximada de 6047 ha.

**Palabras clave:** RENATA; variable; precipitación; recarga; infiltración; riego.

<sup>1</sup> Técnico de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, E-mail: [givalencia1977@hotmail.com](mailto:givalencia1977@hotmail.com)

<sup>2</sup> Docente Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Ecuador, E-mail: [jfelix@pucem.edu.ec](mailto:jfelix@pucem.edu.ec)

<sup>3</sup> Docente Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, Ecuador, E-mail: [jalarcon@pucem.edu.ec](mailto:jalarcon@pucem.edu.ec)

## Abstract

In this article, the water recharge in the Catarama irrigation system (Catarama river basin), Los Ríos, Ecuador is quantified through the application of the RENATA numerical model (Natural Aquifer recharge) developed by the Instituto Geológico y Minero de España (IGME) and Diputación de Alicante. The study calculates the volumes of water generated by the infiltration caused by rainfall and the return of irrigation from the water assigned to the different crops in the area. To determine the recharge, different influential climatic variables were considered: precipitation, temperature, potential and the current evapotranspiration; as well as the different characteristics of the sector's soils. From these variables, RENATA was able to generate the results of the irrigation system modeling, based on the data obtained from monthly climatic series corresponding to the period January 2005 - December 2014, getting during this time a theoretical recharge of 57,139 Hm<sup>3</sup>, in an approximate total area of 6047 ha.

**Keywords:** RENATA; Variable; Precipitation; Recharge; Infiltration; Irrigation.

## Introducción

El agua ha sido desde siempre un recurso indispensable para el ser humano y para todo organismo viviente, debido a que de muchas maneras garantiza la supervivencia de todas las especies del planeta, además de estar presente en todas las actividades de la naturaleza y de la sociedad. Sin embargo, factores como el crecimiento poblacional, desorden climático, actividades industriales, entre otros, han alterado significativamente la cantidad y la calidad del recurso hídrico, haciendo que cada vez sea más difícil acceder a las fuentes de agua para suplir las necesidades diarias. Debido a ello, los depósitos de agua subterránea comenzaron a tomarse como fuente de abastecimiento en países industrializados.

Teniendo en cuenta que estos almacenes de agua subterránea no son infinitos o ilimitados y que para mantener un flujo constante debe existir un proceso de recarga, se plantea el problema ¿Cómo conocer el volumen de recarga que se puede generar a un acuífero? Pues bien, la tierra es como una esponja en donde el agua subterránea va llenando los espacios entre el suelo (o tierra) y rocas y el fluido se mueve lentamente, por lo general en centímetros al año. La recarga natural se origina generalmente del agua de lluvia que a lo largo del suelo o tierra, se infiltra a los acuíferos.

En Ecuador, el Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las Cuencas y Microcuencas Hidrográficas del Ecuador, a través de la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA, 2016) plantea cuatro estrategias para el conocimiento de la situación actual de las aguas subterráneas: 1) clasificar los recursos hídricos subterráneos según la cantidad promedio de recarga, precipitación y escorrentías; 2) estimar la recarga hídrica mediante la determinación de la infiltración de la precipitación, infiltración por

riego e infiltración por escorrentía; 3) estimar los recursos hídricos subterráneos explotables y; 4) realizar un diagnóstico de la información disponible a nivel nacional y por demarcación hidrográfica.

Por lo expuesto anteriormente y debido a que la información hidrogeológica de la cual dispone el país es al momento incompleta y dispersa, nace la necesidad de cuantificar la recarga de agua que se produce en el sistema de riego Catarama, perteneciente a la cuenca del río Catarama en Ecuador, mediante la utilización del modelo numérico RENATA desarrollado por el Instituto Geológico y Geominero de España. El presente estudio permite conocer la recarga a los acuíferos del sistema de riego Catarama, y sirve además como un documento novedoso y de aporte bibliográfico-académico para quien se interese por conocer más sobre las herramientas informáticas disponibles para la gestión hídrica.

El objetivo de la investigación fue cuantificar la recarga de agua en el sistema de riego Catarama, ubicado en la cuenca del río Catarama en Ecuador mediante la utilización del modelo numérico RENATA.

Para el logro de dicho objetivo principal se cumplieron simultáneamente los siguientes objetivos específicos.

- Recopilar y procesar registros pluviográficos del área de estudio
- Estimar volúmenes anuales de recarga
- Analizar variables resultantes de la aplicación del modelo

## Metodología

### *a. Inserción y modificación de series temporales*

Las series de precipitación y temperatura utilizadas en el proyecto corresponden a las estaciones: Pueblo-Viejo con código M0172, Pichilingue con código M006, Vinces con código M0466 y Caluma (sin codificación), todas ellas pertenecientes a la provincia de Los Ríos. La mayoría de estos registros son datos publicados en los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)<sup>4</sup>. Las series corresponden periodos mensuales a partir de enero del 2005 a diciembre del 2014 contabilizando un total de 120 registros. Para la inserción de datos faltantes se utilizó el método racional deductivo:

$$P_i = \left\{ \frac{\Sigma P}{1200 - \Sigma S_i} \right\} S_i \quad (\text{Ec } 1)$$

$i$  = cada uno de los meses desconocidos, como máximo pueden ser once;  $P_i$  = precipitación mensual desconocida en cada año incompleto, en milímetros;  $\Sigma S_i$  = suma de los porcentajes promedio de los meses cuya precipitación se desconoce, en porcentaje;  $\Sigma P$  = suma de las precipitaciones mensuales conocidas en los años incompletos, en milímetros;  $S_i$  = porcentaje promedio asignado a cada uno de los meses desconocidos o faltantes.

<sup>4</sup> La estación Caluma no consta en los registros publicados en los anuarios del INAMHI.

La expresión entre paréntesis es una cantidad constante para cada año incompleto, por lo que finalmente se tiene:  $P_i = k * S_i$

## b. Definición de sectores

### b.1 Sectores climáticos

Luego de haber ingresado los datos de precipitación y temperatura al modelo se procede a establecer los sectores climáticos sobre los cuales estos datos tienen influencia. Para ello se realiza un mallado con polígonos de Thiessen de las estaciones seleccionadas y las áreas de diferentes cultivos. De esta manera a cada sector de los polígonos establecidos, se les podrá asignar una serie de precipitación y de ETP o ETc. En la figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones seleccionadas con relación a el área de influencia del estudio.

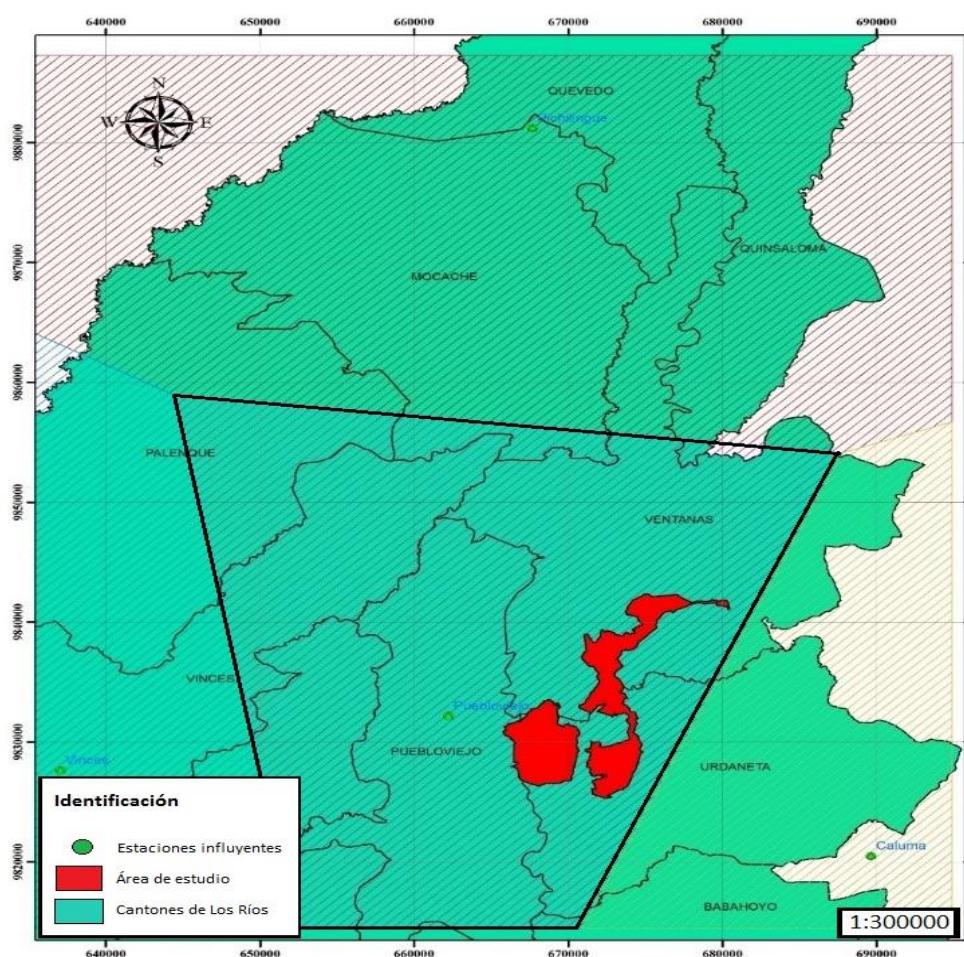


Figura 1. Mapa general del área de influencia del estudio y ubicación de las estaciones meteorológicas consideradas.

### b.2 Sectores de suelo

Es necesario establecer la capacidad de retención de agua por parte el suelo. Ésta depende de su cobertura vegetativa y del tipo de suelo que la contiene, siendo caracterizado principalmente por su estructura y textura. En el área de



estudio se identifican dos clases de suelos los entisoles con características de permeabilidad media a alta y un depósito aluvial, y alfisoles, con material detrítico transportado con una permeabilidad más baja, como se muestra en la figura 2

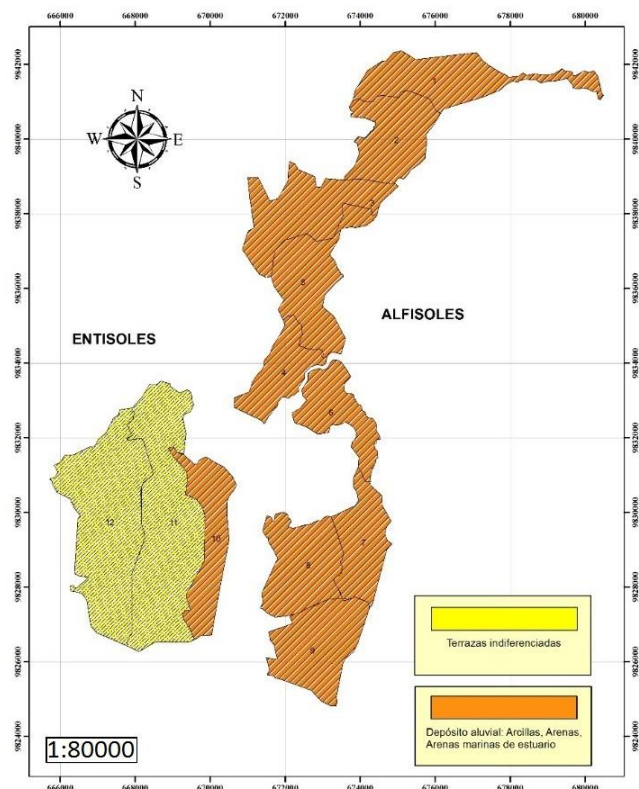


Figura 2. Tipos de suelo con características de permeabilidad intergranular.

### *Capacidad de campo y punto de marchitez*

Para definir el valor representativo de las características propias de dichos suelos se contó con la ayuda del Cropwat. El Cropwat en la versión 8.0 ha sido desarrollado por Joss Swennenhuis para la Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO. CROPWAT 8.0 se basa en las versiones DOS CROPWAT 5.7 de 1992 y CROPWAT 7.0 de 1997. Los procedimientos, algoritmos y la documentación fueron preparados y/o revisados por Martin Smith, Giovanni Muñoz, Gerardo Van Halsema, Florent Maraoux, Gabriella Izzi y Robina Waha<sup>5j</sup>.

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos las cuales reflejan una capacidad de campo (CC) entre 270 a 310 mm y un punto de marchitez permanente (PMP) de 130 a 150 mm, dejando un límite de humedad aprovechable entre 140 y 160 mm para sectores franco arcillosos y arcillo arenosos respectivamente.

<sup>5</sup> Para obtener la última información disponible sobre CROPWAT visite su página Internet: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html) o contacte la FAO: Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy. Correo electrónico: [water-management@fao.org](mailto:water-management@fao.org)

### *Umbral de escorrentía y número de curva*

El valor de este parámetro depende de la litología, de la pendiente y de la vegetación. La escorrentía se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$ESC_i = \begin{cases} \frac{(LLU_i - P_o)^2}{LLU_i + 4 P_o} & \text{si } LLU_i > P_o \\ 0 & \text{si } LLU_i \leq P_o \end{cases} \quad (\text{Ec } 3)$$

La infiltración para un determinado mes es igual:

$$INF_i = LLU_i - ESC_i \quad (\text{Ec } 4)$$

El valor de  $P_o$  tiene su equivalencia con el denominado número de curva (NC) mediante la siguiente expresión:

$$P_o = \frac{5.080}{NC} - 50,80 \quad (\text{Ec } 5) \quad \text{O bien:} \quad NC = \frac{5.080}{(P_o + 50,80)} \quad (\text{Ec } 6)$$

Utilizando las tablas guía para la aplicación del modelo se obtuvo un umbral de escorrentía ( $P_o$ ) = 14 y su respectivo número de curva ( $N_c$ ) = 78, Para el sector de terraza indiferenciada y un umbral de escorrentía ( $P_o$ ) = 19 con su número de curva ( $N_c$ ) = 76 para el sector de depósito aluvial. Ambos con iguales características vegetativas pero con porcentajes de pendientes diferentes. (FAO, 2005)

### *Sectores de riego*

La cuantificación de la recarga de agua proveniente de las aportaciones de riego en el sistema Catarama además de estar caracterizada por los parámetros anteriores, necesita establecer la definición de los sectores de riego y cada uno de ellos con su respectiva serie de dotaciones, para cada tipo y periodo de crecimiento del cultivo, estableciendo las fechas de siembra y cosecha, además de un coeficiente de crecimiento asignado a cada uno de estos periodos. Por ello la recarga al acuífero es influenciada directamente por los retornos del agua de riego de los cultivos que se encuentran directamente en la zona de estudio. Debido a esto, el modelo considera dichos retornos de regadío asociándolos a sectores con series temporales de dotación en  $m^3/ha$ , con lapsos mensuales sobre los que se aplica un porcentaje de retorno tomado como el 20% acuñando el concepto de (Villarroya et al, 2008) citado por (Sandino, 2015), el cual dice que las plantas utilizan el 80% del total del agua aplicada al terreno.

### *Series temporales de dotación*

Los valores de dotaciones mensuales de las series temporales se generaron a partir del método de Blaney-Criddle, método utilizado en el software Cropwat 8.0 y que encuentra recomendado por la FAO para el cálculo de la Evapotranspiración de referencia para cada tipo de cultivo (ETc), el cual

introduce un coeficiente único que contempla las características propias del cultivo, en nuestro caso el Kc del maíz, del cacao y del arroz.

$$ETC_i = ETP_i K C_j \quad (\text{Ec } 7)$$

Donde:

ETCi = evapotranspiración del cultivo (mm); ETPi = evapotranspiración potencial según el clima (mm) y KCj = coeficiente de cultivo.

Para cada cultivo se consideran tres coeficientes: durante el periodo de crecimiento inicial (j = inicial), durante el periodo de crecimiento medio (j = medio) y durante periodo de crecimiento final (j = fin). (Cadena, 2014).

Los tres coeficientes de cultivo caracterizan las cuatro etapas de crecimiento de la planta: inicial, de desarrollo, de mitad de temporada y de final de temporada.

Para calcular la ETPi en cada uno de los periodos se deberá asignar la duración de cada una de estas etapas a lo largo del año y el día y mes de inicio del periodo vegetativo.

#### *Cálculo de evapotranspiración real y lluvia útil*

(Martínez et al, 2005), define la evapotranspiración como el volumen de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en función del volumen de agua disponible bien en forma de lluvia o bien de agua almacenada en el suelo. Padilla., (2012) establece que el límite superior de ETR viene determinado por la evapotranspiración potencial (ETP). Por otro lado, se tiene la variable de lluvia útil (LLU), también denominada lluvia eficaz o excedente, la cual corresponde al volumen de agua que escurre superficialmente más la que se infiltra.

Thornthwaite (1948) plantea para cada periodo (i) un balance del suelo según la siguiente expresión:

$$P_i = ETR_i + LLU_i + \Delta R_i \quad (\text{Ec } 8)$$

Donde:

Pi = precipitación (mm) y ΔRi = incremento de la reserva de agua en el suelo utilizable por las plantas (mm) (FAO, 2005)

Dicho balance se realiza según las siguientes premisas:

- $ETR_i \leq ETP_i$
- El suelo no puede almacenar más de una cierta cantidad de agua que se denomina capacidad de campo (CC) y depende fundamentalmente de la litología y espesor del suelo.

- Siempre que se disponga de agua, precipitación más la almacenada en el suelo, es prioritario primero cubrir la necesidades de ETRi hasta su límite (ETPi) y después aumentar el agua almacenada en el suelo, hasta su límite (CC).
- El excedente de agua, una vez cubiertas las demandas de ETPi y CC, integra la LLUi.

Existe también una variante en el método del balance de Thornthwaite ideada por Girard que se asume se adapta mejor a lo que ocurre en la naturaleza. La variante introducida consiste en que se considera que el excedente de agua de precipitación se almacena en el suelo de dos formas. Si el agua almacenada en el periodo anterior ( $R_{i-1}$ ) es inferior a un cierto valor  $R_{MIN}$  el exceso de precipitación ( $EX_i = P_i - ETR_i$ ) se acumula en su totalidad. Si  $R_{i-1}$  está comprendida entre  $R_{MIN}$  y un cierto valor máximo ( $R_{MAX}$ , equivalente a la CC),  $EX_i$  se divide entre una parte que se destina a aumentar la reserva del suelo y otra a LLUi. Esta repartición se realiza según la siguiente expresión:

$$LLU_i = \max(R_{i-1} + P_i - R_{MAX}, 0) + \Delta R_i \frac{(2R_{BA_i} + \Delta R_i)}{2(R_{MAX} - R_{MIN})}$$

Donde:

$R_{BA_i} = \text{máx. } (R_{MIN}, R_{i-1}) - R_{MIN}$

$R_{HA_i} = \min((R_{i-1} + P_i), R_{MAX}) - R_{MIN}$

$\Delta R_i = \text{máx. } (0, (R_{HA_i} - R_{BA_i}))$

El aumento de la reserva ( $\Delta R_i$ ) es igual:

Si,  $R_{MIN} = R_{MAX}$  el balance se realiza según el método tradicional de Thornthwaite.

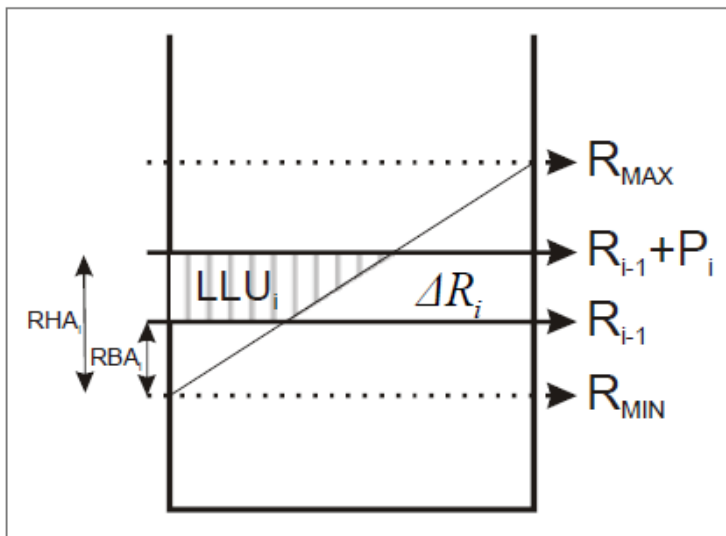


Figura 13. Esquema de producción de lluvia útil e incremento de reserva.



*Tiempo de simulación*

El tiempo de ejecución del modelo queda sujeto a los periodos de los datos ingresados anteriormente (y que de hecho son los que se encuentran disponibles para la simulación) los cuales corresponden a un periodo de diez años a intervalos mensuales desde el mes de enero del 2005 hasta diciembre del 2014 lo que corresponde a 120 registros, así mismo quedan establecidos los intervalos temporales de los datos de las series de precipitación y temperatura incluidas, y los datos resultantes de la modelación (Cadena, 2014).

**Resultados y discusión**

De la ejecución del modelo se obtuvo volúmenes de precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), lluvia útil (LLU), escorrentía (ESC), infiltración (INF), retornos de riego (RR) y recarga total. En la tabla número 1 se observan los valores acumulados de todas las variables mencionadas y agrupados por años sumando en total diez años de registros durante todo el periodo de modelación, cabe recalcar que dichos datos corresponden a la estación Pueblo Viejo, cuya ubicación y área de influencia se ha representado anteriormente en la figura 1. Aunque los registros ingresados corresponden a series mensuales las representaciones orientativas de los resultados se presentan en años.

Tabla 1. Resultados obtenidos a partir de la simulación en modelo RENATA

| <b>Fecha</b> | <b>P (hm3)</b> | <b>ETP (hm3)</b> | <b>ETR (hm3)</b> | <b>LLU (hm3)</b> | <b>INF (hm3)</b> | <b>ESC (hm3)</b> | <b>RR (hm3)</b> | <b>Recarga (hm3)</b> |
|--------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| 2005         | 12,285         | 19,780           | 1,555            | 10,730           | 3,052            | 7,678            | 1,664           | 4,716                |
| 2006         | 21,133         | 19,972           | 2,200            | 18,933           | 3,813            | 15,120           | 1,664           | 5,476                |
| 2007         | 19,798         | 19,700           | 2,318            | 17,480           | 4,565            | 12,915           | 1,664           | 6,229                |
| 2008         | 24,257         | 19,603           | 2,022            | 22,234           | 4,241            | 17,994           | 1,664           | 5,904                |
| 2009         | 15,089         | 19,798           | 1,868            | 13,221           | 3,550            | 9,671            | 1,664           | 5,213                |
| 2010         | 22,662         | 19,776           | 2,263            | 20,399           | 4,919            | 15,480           | 1,664           | 6,582                |
| 2011         | 13,811         | 19,865           | 2,191            | 11,619           | 4,074            | 7,546            | 1,664           | 5,737                |
| 2012         | 18,912         | 19,971           | 2,196            | 16,716           | 4,206            | 12,510           | 1,664           | 5,870                |
| 2013         | 24,360         | 21,588           | 1,888            | 22,472           | 3,836            | 18,636           | 1,664           | 5,500                |
| 2014         | 18,484         | 17,937           | 2,139            | 16,345           | 4,249            | 12,096           | 1,664           | 5,913                |
| <b>TOTAL</b> | <b>190,789</b> | <b>197,988</b>   | <b>20,640</b>    | <b>170,150</b>   | <b>40,505</b>    | <b>129,645</b>   | <b>16,634</b>   | <b>57,139</b>        |

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos de la simulación:

*a. Variables climáticas**a.1 Precipitación, evapotranspiración real y potencial*

En la figura 3 se puede observar la diferencia de volúmenes acumulados entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real (ETR) teniendo en cuenta la variación de esta última no depende únicamente de factores de orden climático del sector de estudio (radiación, humedad del aire, viento y humedad del suelo) sino también de la anatomía de la planta y del coeficiente de cultivo, que fue asignado para cada tipo de cultivo y para cada periodo de tiempo de crecimiento seleccionado. De ésta forma podemos analizar la cantidad de agua que realmente fue transferida a la atmosfera mediante la evapotranspiración real y compararla con la evapotranspiración potencial (que considera la demanda evapotranspiración de la atmósfera) que como se observa, magnifica una cantidad teórica de agua en el supuesto de que el suelo haya estado completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua.

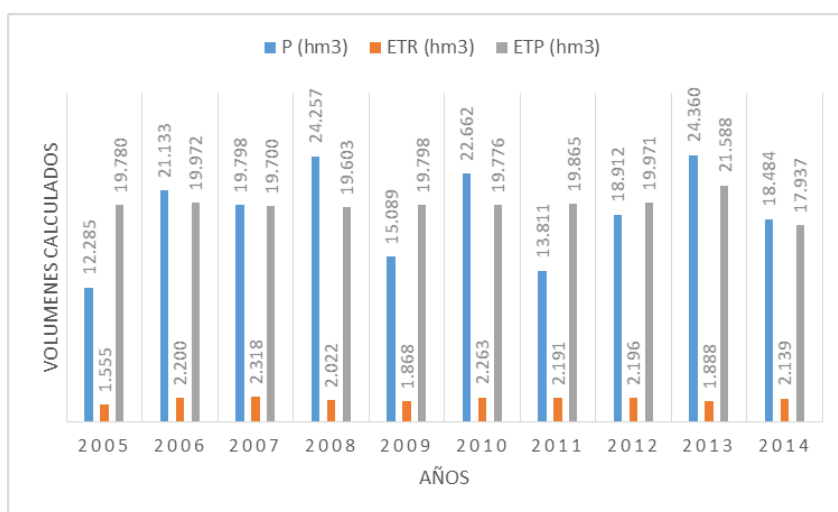


Figura 3. Volúmenes anuales de ETR y ETP, calculados mediante RENATA

### *a.2 Lluvia útil y escorrentía superficial*

Debido a las características de suelos medianamente profundos, de textura arcillosa, susceptibles a la erosión, desarrollados sobre relieves ligeramente ondulados y relieves sedimentarios y lluvias marcadas por su intensidad en breves periodos de tiempo, se puede observar en la figura que los valores de escorrentía superficial calculados nos presenta un volumen anual máximo en 2013 de hasta 18,636 hm<sup>3</sup> (ver tabla 1) siendo altos en comparación con la lluvia útil, lo que nos puede dar a conocer el elevado porcentaje de escorrentía que ha generado durante el periodo de estudio alcanzando hasta el 75% de la lluvia útil en el sistema de riego Catarama, ocasionando repetidamente inundaciones en los sectores mal drenados.

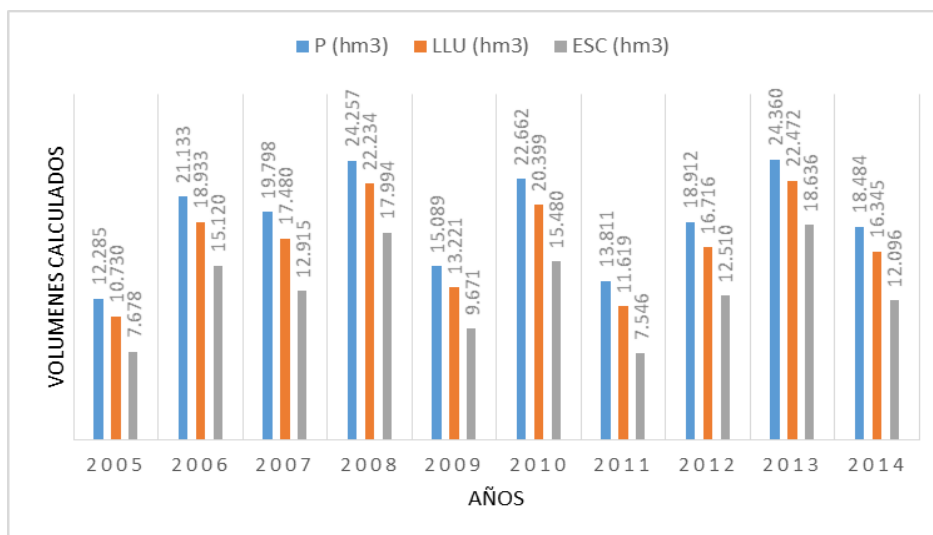


Figura 4. Volúmenes anuales de LLU y ESC, calculados mediante RENATA

### a.3 Infiltración y retorno de riego

En la figura 4 se observaban los volúmenes calculados de escorrentía y de lluvia útil generados sobre el sistema de riego. La diferencia de estos dos valores da como resultado el volumen de infiltración generado por el modelo.

Por otra parte, en la figura 5, además de los datos de infiltración también se observan los valores de retorno de riego originados a partir del porcentaje generado en las dotaciones establecidas para cada tipo de cultivo, evidenciando que los valores acumulados de retorno de riego son iguales para cada año debido a los datos de demanda de agua, iguales para cada mes y resultantes de la poca rotación de cultivos en los sectores estudiados. Se destaca que la sumatoria de estas dos variables será contabilizada como el volumen de agua que se ha generado como recarga en el sistema.

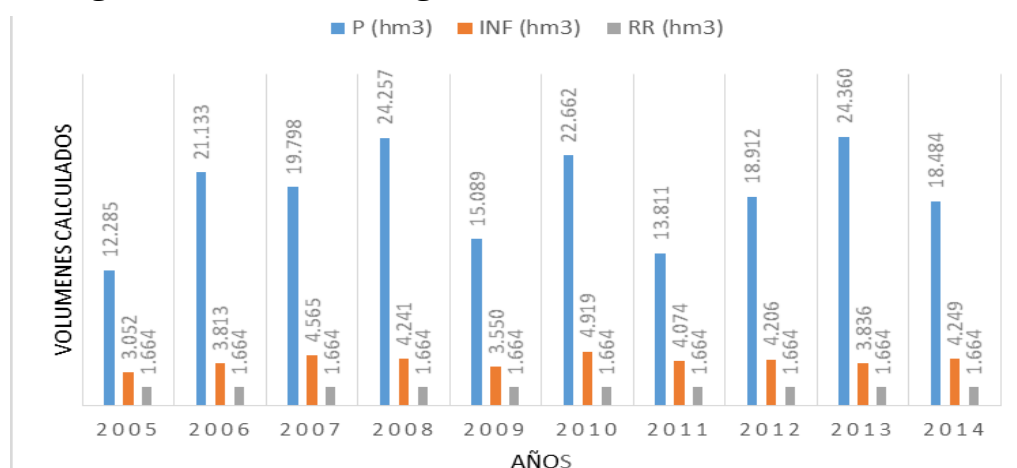


Figura 5. Volúmenes anuales de INF y RR calculados mediante RENATA

#### a.4 Recarga

Luego de haber obtenido los resultados de los cálculos descritos anteriormente de infiltración y retorno de riego, como se mencionó, se obtuvieron finalmente los valores de recarga estimados para la zona de estudio en el lapso de diez años experimentados como se observa en la figura 6.

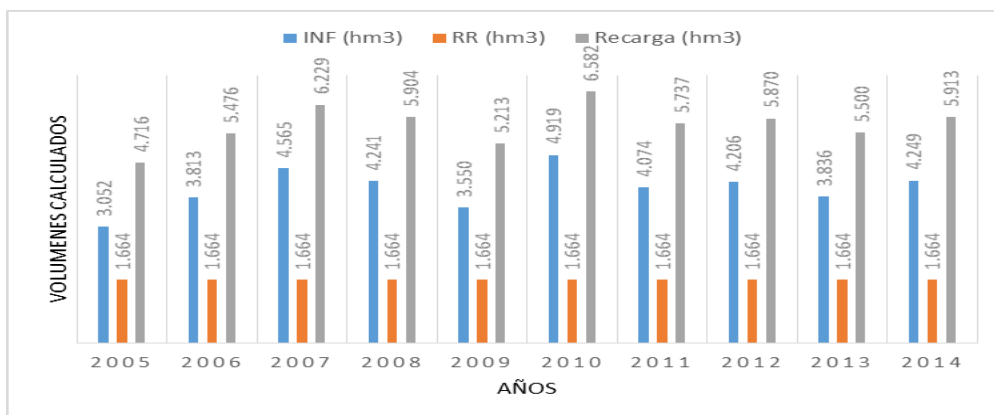


Figura 6. Volúmenes de Infiltración INF más Recargas por Riego (RR) calculados mediante RENATA

Del análisis de los elementos descritos con anterioridad, se obtiene como resultado una agrupación de valores obtenidos con el programa RENATA (volúmenes de infiltración, retorno de riego y la recarga de agua) basándose en una selección de áreas con igual tipo de cultivo (maíz, cacao y arroz) como se observa en la figura 7.

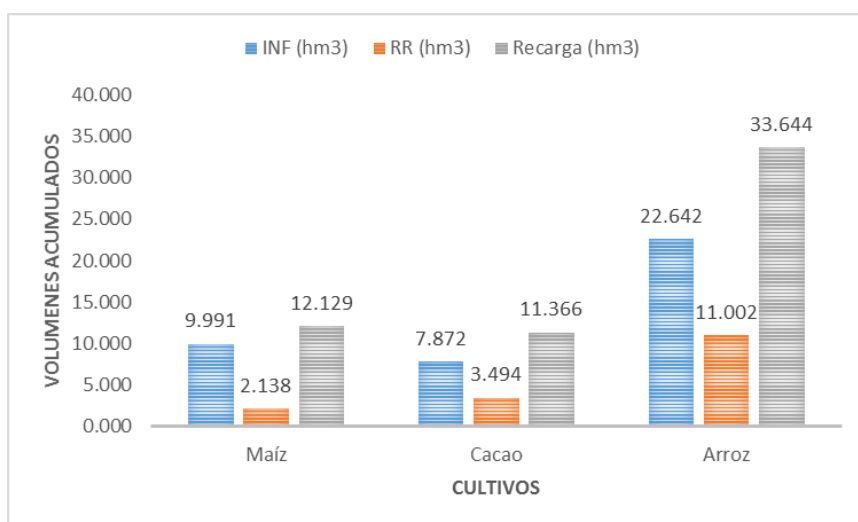


Figura 7. Volúmenes de recarga diferenciando tipo de cultivo

A diferencia de los valores acumulados de retorno de riego observados en el gráfico 6, en éste último se puede evidenciar la descomposición por áreas obteniendo los valores que se han consolidado en la tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de recarga de agua al acuífero por tipo de cultivo

| <b>Cultivo</b> | <b>Área de siembra (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Recarga total (hm<sup>3</sup>)</b> | <b>Recarga de agua por infiltración (%)</b> | <b>Recarga de agua por retorno de riego (%)</b> |
|----------------|---|---------------------------------------|---|---|
| <i>Arroz</i>   | 39,74                                   | 33,644                                | 67,3  | 32,7  |
| <i>Cacao</i>   | 6,59                                    | 11,366                                | 69,3  | 30,7  |
| <i>Maíz</i>    | 14,15                                   | 12,129                                | 82,37                                       | 17,63   |

Sumando los valores de recarga de la Tabla II y obteniendo los porcentajes globales correspondientes al tipo de recarga, se obtiene que la infiltración en el suelo aportó con el 70,9% de agua mientras que el retorno de riego lo hizo con el 29,1%.

Existe una marcada diferencia de recarga entre los cultivos de arroz, cacao y maíz, entre los dos primeros los porcentajes de recarga por infiltración y retorno de riego practcamente son similares entre sí, mientras que el maíz marca una mayor diferencia. El motivo podría plantearse como hipótesis de futuras investigaciones pues indudablemente se asocia a la necesidad hídrica de la planta, métodos de riego y a las condiciones climatológicas del sitio.

Si bien las dotaciones de riego establecidas en el modelo numérico aportan únicamente con un 29,1% a la recarga por retorno del mismo, éstas dotaciones al ser tecnificadas permiten una incorporación directa y controlada de agua al sistema, evitando la producción de escorrentía y por ende el desperdicio de agua. Los valores calculados anteriormente para retorno por riego, apuntarían entonces a una tecnificación de riego eficiente.

## Conclusiones

La incorporación de dotaciones con un coeficiente de cultivo establecido, nos indicó que el aumento en el retorno de riego al acuífero, está vinculado directamente al tipo de cultivo y al método de riego a emplear, puesto que los sistemas de riego empleados condicionan la eficiencia del mismo y por ende la lámina bruta y neta de dotación a asignar (tal como se muestra en los resultados obtenidos de los cultivos arroz, cacao y maíz). De igual manera la rotación de cultivos alterará la recarga de agua.

Se estableció directamente el porcentaje de retorno con el cual aporta a la recarga por riego cada área cultivada concluyendo que el arroz genera 33,644 hm<sup>3</sup> en un área de 39,74 km<sup>2</sup> de retorno, el cacao lo hace con 11,366 hm<sup>3</sup> en un área de 6,59 km<sup>2</sup> y el maíz con 12,129 hm<sup>3</sup> en un área de 14,15 km<sup>2</sup>, durante el periodo de estudio. Como se indicó anteriormente la tecnificación del suelo y método de riego del arroz y el maíz comparado con la necesidad de agua durante el periodo (más extenso) de desarrollo del cacao producen la diferencia de los valores obtenidos en relación a su extensión de cultivo.

La lluvia útil generada en el sistema de riego pasa a convertirse en su mayoría a escorrentía dejando valores más bajos de infiltración, lo que nos deja ver que

grandes volúmenes de agua no son aprovechados en el sector además de ocasionar problemas de inundación debido a las características de los suelos del lugar y a sistemas de riego mal drenados.

Los valores calculados de recarga de agua en el sistema de riego Catarama se establecieron aproximadamente en 57,139 hm<sup>3</sup> durante el periodo de estudio, lo cual equivaldría aproximadamente a 944,8 l/m<sup>2</sup>, donde el mayor aporte hídrico fue generado por procesos de infiltración 70,9% y en menor proporción por retorno de riego de cultivos en un 29,1% aproximadamente.

### **Referencias bibliográficas**

ARCA (2016). Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. Asamblea Nacional de la República del Ecuador.

Cadena, V. (2014). Hablemos de riego con los agricultores. Prefectura de Los Ríos. Pueblo Viejo, Ecuador.

FAO (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Roma, Italia.

FAO (2015). Guía para la determinación de las necesidades de agua de los cultivos. Evaporación del cultivo en condiciones no estándar, parte C. Roma, Italia.

Martínez, R., Boueri, M., & Escalona, P. (2005). Correlación entre la evaporación en tina y la evaporación calculada en cinco estaciones climatológicas. Bioagro, 17 (2), 79-83. Bogotá, Colombia

Padilla B., A. (2012). Renata: Recarga natural a los acuíferos: Manual del usuario. Programa para el cálculo de la recarga a los acuíferos a partir de los procesos que tienen lugar en el suelo. Calibración mediante modelos de flujo. Instituto Geológico y Minero de España. Diputación de Alicante.

Sandino, L. (2015). Cuantificación de la recarga de agua en la MAS Aluviales

Villarroya, F., Senderos, A. J., Alcázar, M. (2008). Las «minas de agua» de Ciempozuelos (Madrid). Geogaceta, N°44, pp. 175-178.